第48卷　第2期
2025年2月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 48　No. 2
Feb. 2025

多元流视角下新疆绿洲城市网络格局研究

郭佳丽[1,2]，　杜宏茹[1,2]

（1. 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆 乌鲁木齐　830011；2. 中国科学院大学资源与环境学院，北京　100049）

摘　要：各种要素的空间流动不断重塑城市间的联系。相较于单一要素视角下的城市网络研究，多元要素流视角下的城市网络研究能够更加全面地识别城市空间格局，体现出城市网络的地域特征。以新疆为案例区，基于航空、人口、铁路、物流、信息、技术等要素关系数据反映城市间的相互作用，运用社会网络分析法，对绿洲城市网络的结构特征进行分析。结果表明：(1) 受绿洲分布格局影响，干旱区城市网络呈现出以核心城市为中心的"单核心引领+扁平化发展"的总体特征。(2) 交通流和技术流网络的首位特征更为明显，物流和信息流网络受首位城市的影响较小，城市中心性规模分散，城市间差距较小。(3) 物流和信息流网络密度较大，发育成熟，呈现多中心的网络结构，交通流、人流和技术流网络以单中心为主，且呈现出"核心-边缘"结构。(4) 加快培育增长极，引导区域网络结构向多中心化转变，加强区域创新互补是绿洲城市高质量发展、城镇体系空间优化的首要目标。

关 键 词：多元要素流；城市网络；流空间；绿洲城市；新疆

文章编号：1000-6060(2025)02-0323-10(0323~0332)

城市的相互作用和空间分异根植于城市间不同要素的流动[1]，随着经济全球化和信息化的发展，城市间人员流动、信息传递、物资扩散及经济技术的合作更加密切，在地域空间上形成各种要素流，这些多元要素流可冲破地理空间的壁垒，实现不同区域的协同发展，促使城镇体系结构逐渐向开放、流动和多中心的网络化模式转变[2]。城市的研究重心也从依托属性数据的静态结构向关系数据的动态网络转移，城市网络作为近年城市地理学的研究热点，是对传统城市与区域空间结构研究的延伸和完善[3]。基于城市间要素流联系的数据探究区域内城镇网络的点、线组合状态，不仅能反映城市间的外部关系，全面识别城市的空间格局特征，促进各城市充分发挥相应职能，而且还能塑造区域一体化的城市网络空间格局。

目前，城市与区域的研究逐渐转向流空间及其映射的城市网络。学者们聚焦城市间的交通流[4-6]、信息流[7-11]、技术流[12]、企业流[13]，从基础设施、企业组织、知识创新、人口流动等方面，对国内外城市网络的节点作用和格局特征进行了广泛研究。全球化与世界城市研究小组(Globalization and world cities，GaWC)基于高端服务业对世界城市网络进行了大量实证研究，为世界城市网络的研究提供了测度城市间联系的"流"数据基础，并将该研究推到了全新的阶段[14-16]。Taylor等[17]在对世界百强高级生产性服务业的网络特征研究中提出了"连锁网络模型"，创立了刻画城市联系的新视角，为后续学者的城市网络研究提供了新的方法。城市流空间是信息流动和物质流转的复杂系统[18]，不同视角下的城市网络特征有所差异，单一要素流难以反映城市网络结构特征的综合性和复杂性，有必要从多元要素流视角更加全面地认识城市网络的功能、联系

收稿日期：2024-03-09；　**修订日期**：2024-04-28
基金项目：第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK1007)资助
作者简介：郭佳丽(1998-)，女，硕士研究生，主要从事城市地理研究. E-mail: guojiali21@mails.ucas.ac.cn
通讯作者：杜宏茹(1974-)，女，研究员，主要从事城市地理、城乡与区域发展研究. E-mail: duhongru@sina.cn

和结构。学者们从交通流、信息流、企业流视角对城市网络进行比较和综合分析[3,19-23]。马丽亚等[3]通过铁路客运班次、百度指数和上市母子企业数据分析了东北地区的城市网络特征,结果表明信息和交通流下的城市相互作用更加明显,多元流下的城市跨省域联系格局尚未形成。赵金丽等[21]基于金融企业、铁路班次、百度指数对黄河流域的城市网络空间结构进行了研究,表明交通网络中节点城市的中心性差异显著,金融网络的发育最为成熟。综合来看,单要素流视角下的城市网络研究颇为丰富,多要素流的研究较少,缺乏将技术要素和物流要素纳入城市网络的综合研究,对不同类型网络的比较分析及其共同作用下的城市网络结构特征研究还有待深入和提高。同时,现有研究对象多集中在网络发达的长三角、珠三角等区域,对中西部地区特别是省域尺度下的研究相对不足。

新疆是我国"一带一路"建设的核心区,对外开放的桥头堡[24],同时在国家粮食安全、能源保障和重要农产品供给方面具有重要作用,新疆高质量发展关乎我国改革发展和社会大局稳定[25]。新疆各地区资源禀赋、生态质量、经济发展差异显著,为区域一体化和高质量发展带来巨大的挑战。城市作为推动区域发展和新质生产力的主要载体,是落实国家战略、促进新疆区域稳定和发展的核心力量。从区域内部分异和相互作用识别城市高质量发展的实际水平和短板问题,从"流空间"视角审视干旱区绿洲城市的功能定位和关联关系,对推动形成优势互补的高质量发展新格局具有重要意义。新疆的城镇受自然地理格局影响,带有鲜明的绿洲特色,表现出规模小、团块状布局、首位度高等地域性特征[26]。已有学者基于公路客运班次,指出新疆城市网络以近域联系为主,等级特征和节点极化特征突出,城市等级与地理距离在空间上相互叠加的作用明显[27]。除了公路客运班次,新疆城市间的人口、物质、信息、技术联系也日益紧密,交通中的铁路和航空客运在城市交往中也起到重要的作用,基于多要素流视角探究新疆绿洲城市的网络格局,不仅能够丰富我国城市网络的地域性研究成果,还弥补了单一视角研究的局限性,可以更加全面准确地剖析新疆城市网络特征与空间组织结构,以期为新疆城市高质量发展和空间结构优化提供相应的理论支撑。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

新疆维吾尔自治区地处欧亚大陆中心,是我国西北边疆和向西开放的前沿。高山、沙漠以及嵌入其中的带状、串珠状的绿洲是新疆"三山夹两盆"自然地理格局的主要构成单元,水土条件较好的绿洲是农业和城镇的主要分布区[28]。全区面积166.49×10^4 km^2,辖4个地级市、5个地区、5个自治州和11个自治区直辖县级市。截至2022年末,全区常住人口2587×10^4人,城镇化率57.90%。研究区包含18个地级行政单元(以下统称为城市),考虑到数据的可获得性,未将昆玉、北屯、双河、胡杨河、铁门关、新星和可克达拉等新设立的兵团城市纳入研究范围(图1)。

1.2 数据来源

城市间的联系主要通过交通、人口、物质、资金、信息和技术要素流动来实现[18,29],使城市间产生经济活动的关联互补,从而构成多尺度、复杂的网络系统。综合考虑数据质量和可获得性,本文选取以下流数据来表征城市间的联系,具体见表1。

(1) 航班在一周内有较为稳定的起降计划,在城市网络研究中多使用周客运班次来度量城市间的航空联系强度。将一个城市内的多个机场进行合并,并对经停航班数据A→B(经停)→C处理为A→B、B→C和A→C。(2) 为避免人口流的波动,本文采集了非节假日的长时段数据,以日均人口迁徙规模指数来测度城市间的人口联系。(3) 除节假日外,铁路班次安排稳定,本文以非假日9月15日的铁路班次来反映城市间的铁路联系,并对同一城市内的多个铁路站点进行合并。(4) 物流线路较为固定,故采用单日数据反映城市间的物流联系。(5) 避免疫情对数据稳定性的影响,以2023年1月1日至10月11日的日均搜索指数表征城市间的信息联系。(6) 城市间的技术联系用专利转移数量来测度,由于1 a内的专利转移量较少,没有代表性,故采用近5 a的累计专利转移量表示城市间的技术联系。

1.3 研究方法

1.3.1 *社会网络分析* 本文主要运用社会网络分析法,通过UCINET 6.0对各要素流视角下的网络空间结构进行分析,并借助ArcGIS 10.8进行可视化表达,度量指标见表2。



注:基于新疆维吾尔自治区自然资源厅网站审图号为新S(2021)047号的标准地图制作,底图边界无修改。下同。

图1　研究区示意图

Fig. 1　Schematic diagram of the study area

表1　数据来源

Tab. 1　Data source

类型	数据	来源	时段
航空流数据	航空客运班次	OAG航空数据库(https://oag.cn/)	2023年3月6—12日
人口流数据	城市迁入(迁出)规模指数、人口迁入(迁出)百分比	百度迁徙平台(https://qianxi.baidu.com/)	2023年2月、4月、7月1日至8月11日,共计100 d
信息流数据	基于双向搜索规则的城市日平均搜索指数	百度指数官网(https://index.baidu.com/)	2023年1月1日至10月11日
铁路流数据	普速和高速铁路客运班次	12306官网(https://www.12306.cn/)	2023年9月5日
技术流数据	发明、实用新型专利转移数据	国家知识产权局(https://www.cnipa.gov.cn/)	2018—2022年
物流数据	物流线路	阿里巴巴菜鸟运输市场(https://56.1688.com/)	2023年3月1日

表2　测量指标

Tab. 2　Measure index

指标	计算公式	公式说明	表征意义
联系强度	$C_{ij}=C_{i-j}+C_{j-i}$	C_{ij} 为城市i和城市j的联系强度；C_{i-j} 为城市i流向城市j的要素流强度；C_{j-i} 为城市j流向城市i的要素流强度	指各要素流网络中节点城市间的连接强度,联系强度越大,城市间要素的流动性越好
网络密度	$D=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}d_{ij}}{n(n-1)},\ i\neq j$	D为网络密度；n为城市节点数；d_{ij} 为城市i和城市j的联系强度	反映城市间的联系紧密度,网络密度越大城际联系越紧密,城市网络发育越成熟[22]
点度中心度	$C_D(i)=\frac{\sum_{j=1}^{n}X_{ij}}{n-1}$	$C_D(i)$ 为城市i的点度中心度；X_{ij} 为城市i和城市j的联系强度；n为城市节点数	刻画网络中节点的重要程度,出度衡量节点的辐射能力,入度衡量节点的集聚能力[30]
中间中心度	$C_B(ni)=\frac{\sum_{j<k}\frac{m_{jk}(ni)}{m_{jk}}}{(m-1)(m-2)}$	$C_B(ni)$ 为中间中心度；m_{jk} 为城市j到k的最短路径数；$m_{jk}(ni)$ 为节点j与节点k之间经过节点i的最短路径数	衡量网络中节点城市所具有的控制其他2个城市的交流能力,中间中心度越大,城市的资源控制能力越强[31]

1.3.2 Zipf模型 Zipf模型通常用来研究城市位序和城市规模的关系，本研究采用城市网络的点度中心度表征规模，对中心度进行排序，形成规模与位序的对应关系[21]，两者形成线性回归关系。α越小城市网络节点的规模分布越均衡，反之节点倾向于集聚的首位分布。

$$P_i = C/S_i^{\alpha} \tag{1}$$

式中：P_i为城市i的点度中心度；S_i为城市i的点度中心度的排序；C为常数；α为回归系数。

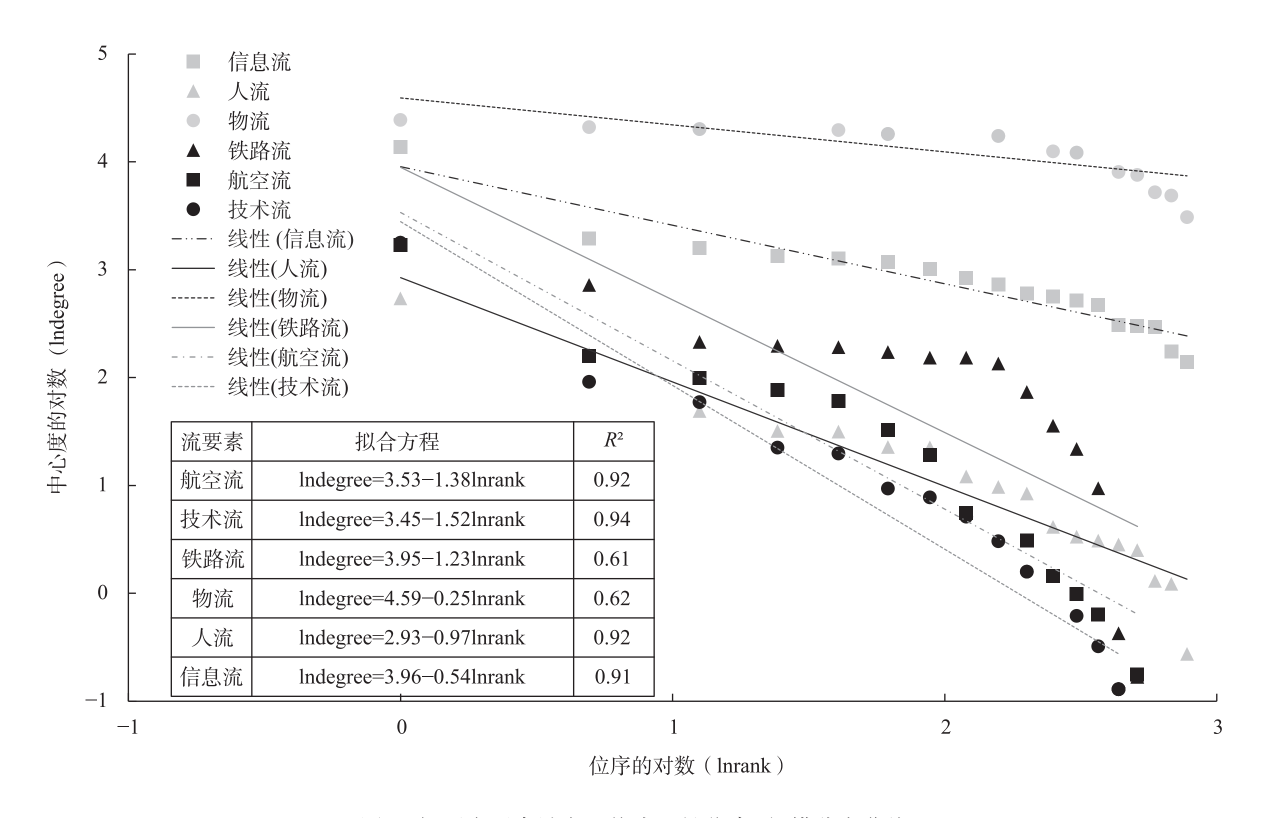
2 结果与分析

2.1 不同要素流的城市网络特征

2.1.1 网络中心性特征差异 通过UCINET 6.0对城市网络的点度中心度进行计算，并借助位序-规模法则(Zipf's Law)对城市位序和点度中心度进行线性拟合(图2)。技术、航空和铁路网络的Zipf指数分别为1.52、1.38、1.23，表明网络的中心度规模分布集中，高位次城市在网络中的作用显著，尤其是技术网络中创新要素流高度集中在位序靠前的城市，首位城市的影响力大，具有一定的极化效应。人口网络Zipf指数为0.97，接近于1，与传统城市地理模型的分布规律最为接近，位序-规模结构较为理想，发育结构趋于稳定。信息和物流网络的Zipf指数分别为0.54、0.25，说明要素在区域内的分布偏向分散，高位次城市规模不突出，中等位序节点城市较多，城市间的差距偏小。

利用ArcGIS 10.8的自然间断点分级法将点度中心度划分为4级。乌鲁木齐市在各要素网络的中心性都远高于其他城市，是网络中的单核心节点，喀什地区、伊犁哈萨克自治州直属县市(简称伊犁州直)、阿克苏地区等规模等级较大和综合实力较强的城市拥有较高的网络中心性，而阿拉尔市、图木舒克市、五家渠市、克孜勒苏柯尔克孜自治州(简称克州)、阿勒泰地区受制于地理区位和经济发展，在各要素网络中均位于第三、四层级。

受空间距离影响，南疆城市在航空网络中拥有较高的中心性，而天山北坡和吐哈盆地由于交通出行选择更加多样，中心性较低。相反，铁路网络中具有较强枢纽和中转作用的乌鲁木齐市、吐鲁番市以及巴音郭楞蒙古自治州(简称巴州)拥有高中心性，而位于铁路干线末端的城市缺少中转机会，中心性普遍较低。技术网络中极化现象明显，乌鲁木



流要素	拟合方程	R^2
航空流	lndegree=3.53−1.38lnrank	0.92
技术流	lndegree=3.45−1.52lnrank	0.94
铁路流	lndegree=3.95−1.23lnrank	0.61
物流	lndegree=4.59−0.25lnrank	0.62
人流	lndegree=2.93−0.97lnrank	0.92
信息流	lndegree=3.96−0.54lnrank	0.91

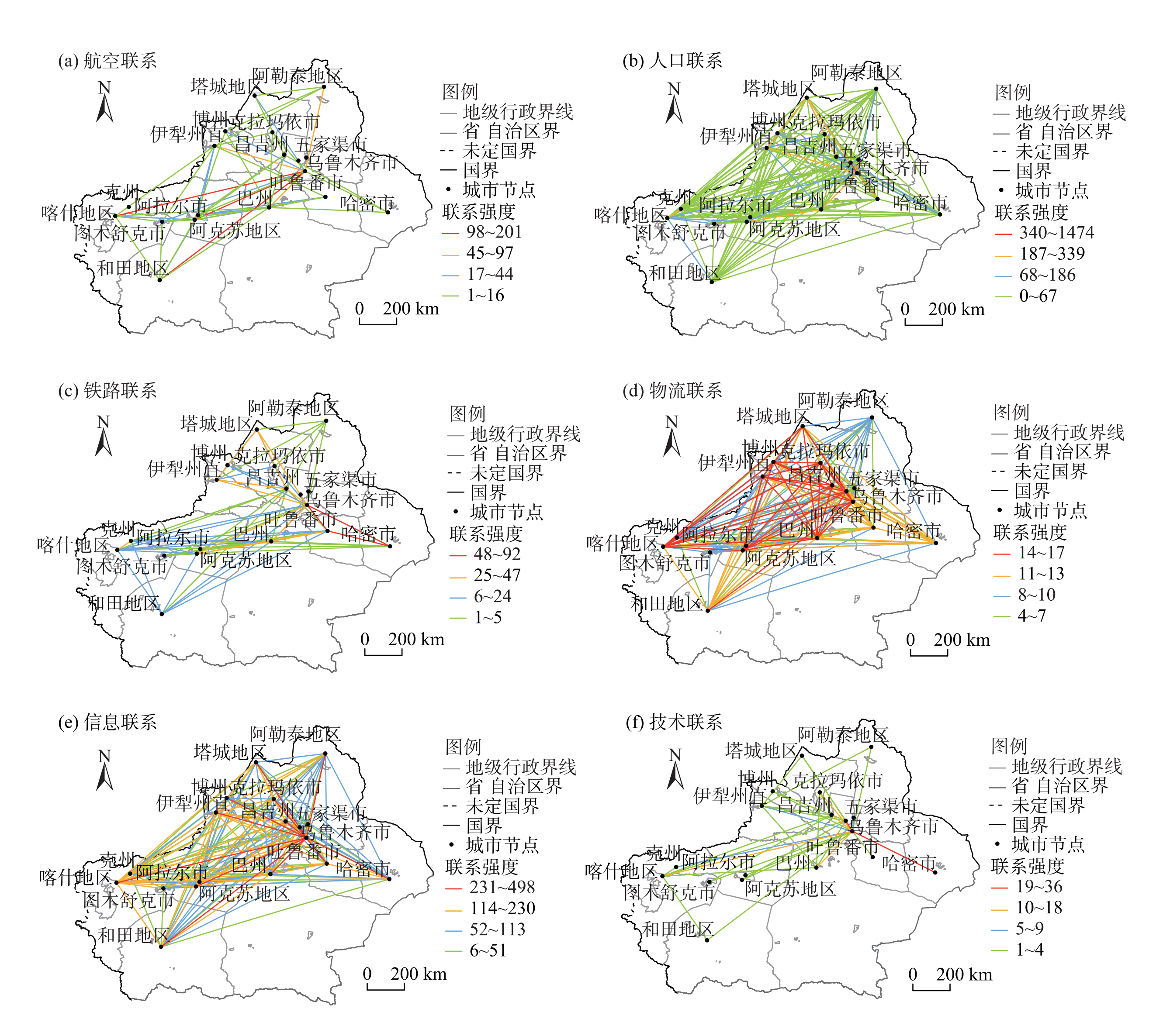
图2 新疆多要素城市网络中心性位序-规模分布曲线

Fig. 2 Multi-factor city network centrality rank-size distribution curve in Xinjiang

齐市的中心地位遥遥领先，其他城市多位于第三、四层级，节点城市的技术溢出和吸收能力整体较弱。人口网络与信息网络的节点中心性受城市人口规模、对外交流能力影响，节点城市的集聚和扩散能力也存在显著差异，乌鲁木齐市和昌吉回族自治州（简称昌吉州）的中心性稳居前三，小城市和偏远城市的出度和入度普遍较低。此外，信息网络中节点城市的出度中心性和入度中心性差异显著，高中心性城市普遍表现出较强的信息集聚能力，低中心性城市普遍表现出较强的信息扩散能力。相较于其他网络，物流网络中一、二、三、四层级城市的节点中心性差距较小，层级分异特征不明显。

2.1.2　网络联系特征差异　借助UCINET 6.0计算各网络密度，利用ArcGIS 10.8对各网络中城市间的联系强度进行可视化，并通过自然间断点分级法将其划分为4级（图3）。不同要素网络的密度呈现：物流（0.61）>信息（0.43）>铁路（0.24）>人口（0.22）>航空（0.21）>技术（0.14）。物流和信息的网络化程度高，节点城市间的联系较为紧密，空间结构较为均衡；铁路、人口、航空和技术网络发育水平较低，节点城市间的联系较弱，网络的“核心–边缘”结构较明显。

航空网络呈现“北疏南密”的结构，高强度联系集中在首府城市与偏远城市之间，航空运输方式成为相距较远城市间的最优选择，而铁路网络的轴带



注：伊犁州直为伊犁哈萨克自治州直属县市；巴州为巴音郭楞蒙古自治州；昌吉州为昌吉回族自治州；博州为博尔塔拉蒙古自治州；克州为克孜勒苏柯尔克孜自治州。下同。

图3　新疆不同要素流城市网络的联系强度

Fig. 3　Multi-factor city network connection strength in Xinjiang

作用明显,铁路干线上的节点城市之间联系较强。人口网络呈现“南疏北密”的结构,天山北坡经济带联系最强,且空间邻近效应明显,各节点趋于与邻近节点优先建立联系。信息网络中节点城市的联系较为均衡,乌鲁木齐市与其他节点城市联系最为密切。物流网络呈现菱形结构,各节点城市的交流联系广泛,网络化特征明显,且城市间联系强度的差距较小。技术网络中城市间的联系整体较弱,呈现以乌鲁木齐市为核心的放射状网络结构。

2.2 多元流下的城市复合网络特征

运用极值法将6种单要素流城市网络联系矩阵进行归一化处理,并赋予同等权重[20,30,32]进行加权求和,作为城市综合网络联系矩阵。

2.2.1 网络中心性 通过UCINET 6.0计算综合网络的点度中心度和中间中心度(表3)。乌鲁木齐市的核心地位突出,缺乏综合能力较强的次增长极,整体呈现“核心引领+扁平化发展”的特征。

乌鲁木齐市的资源集聚、辐射和中转的绝对优势凸显,是网络的单核心节点。喀什地区、伊犁州直、巴州和阿克苏地区在网络中也较为重要,点度中心度在28~35,但与乌鲁木齐市的整体差距较大,属于省域弱中心城市。其他节点城市则为一般城市,以中心城市的辐射带动为主,网络中缺乏次增长极。相较于连接能力,节点城市的中转能力不足。乌鲁木齐市、喀什地区和阿克苏地区是主要中转节点,中间中心度为36.90、7.86和6.61,表明网络中所有节点城市的最短联系通道中有89%会经过这3个城市。中间中心度为0的几个城市不具备资源中转能力,处在网络的边缘。

2.2.2 网络关联格局 借助ArcGIS 10.8对城市间的联系强度进行可视化,使用自然断裂点分级法将联系强度划为4级,得到图4,并计算层级聚集度(表4)。层级聚集度反映关联强度向各个层级集聚的程度,数值越大集聚程度越高。从一级到四级,城市综合网络中节点城市关联数量逐渐增多,呈现金字塔形的分布结构,层级集聚度由3.48下降至0.35,关联强度表现出向顶级联系集中的特点。由图4可知,乌鲁木齐市与克拉玛依市、伊犁州直、阿克苏地区、喀什地区、和田地区、巴州等区域性中心城市的联系最为显著,表现出明显的向心联系特征。除乌鲁木齐市之外,其他城市间的联系明显减弱,其中克拉玛依市-伊犁州直、巴州-阿克苏地区、阿克苏地区-喀什地区的联系较强,而和田地区与北疆城市、塔城地区和阿勒泰地区与南疆、东疆的联系较弱,其受空间距离的影响明显。

3 讨论

受山地-绿洲-荒漠生态系统的影响,绿洲城市网络层级不突出,中心城市在网络中的辐射带动作用较为突出,而其他城市在网络中的作用有限,网络层级出现“断层”现象,小组团、扁平化的特征明显。这与国内其他区域城市网络结构特征有所不同。长江流域[2,22]、珠三角[33]、黄河流域[1,23]等城市网

表3 新疆综合城市网络中心性

Tab. 3 Comprehensive city network centrality in Xinjiang

城市	点度中心度		中间中心度	城市	点度中心度		中间中心度
	点出度	点入度			点出度	点入度	
乌鲁木齐市	60.11	58.32	36.90	石河子市	31.19	24.93	0.97
喀什地区	34.42	31.99	7.86	哈密市	23.63	25.54	0.04
伊犁州直	33.51	33.19	1.14	和田地区	23.58	24.75	0.10
阿克苏地区	32.08	32.22	6.61	博州	23.11	24.73	0.15
巴州	28.05	32.07	2.53	阿勒泰地区	17.02	16.52	0.00
昌吉州	26.69	30.87	1.28	图木舒克市	18.68	15.74	0.00
塔城地区	25.56	28.11	0.20	阿拉尔市	16.94	17.85	0.00
克拉玛依市	27.43	26.33	0.18	克州	16.24	15.58	0.00
吐鲁番市	25.39	26.26	0.26	五家渠市	12.60	11.25	0.00
平均值	26.46	26.46	3.23				

注:伊犁州直为伊犁哈萨克自治州直属县市;巴州为巴音郭楞蒙古自治州;昌吉州为昌吉回族自治州;博州为博尔塔拉蒙古自治州;克州为克孜勒苏柯尔克孜自治州。

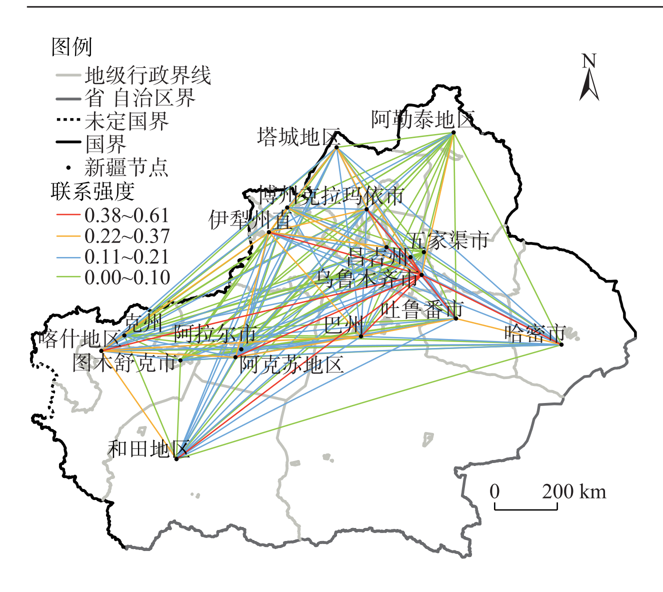


图4　新疆综合城市网络联系强度

Fig. 4　Comprehensive city network connection strength in Xinjiang

表4　复合网络关联强度层级集聚特征

Tab. 4　Hierarchical agglomeration characteristics of composite network correlation strength

联系级别	城市联系		关联强度		层级集聚度
	数量	数量占比/%	总量	强度占比/%	
一级联系	10	6.54	4.89	22.78	3.48
二级联系	16	10.46	4.12	19.19	1.83
三级联系	58	37.90	9.10	42.38	1.12
四级联系	69	45.10	3.36	15.65	0.35

络多呈现层级递进式的结构特征，中心城市的作用突出，但并没有干旱区的首位性高。多中心、多层次、多节点的新疆城市网络体系打造，是推动绿洲城市高质量发展的首要任务和优化绿洲城市空间体系结构的有效举措。

在多元要素流的对比分析下，信息和物流网络更容易克服空间距离摩擦，在更广的空间范围内塑造形成较成熟的网络，这与李苑君等[33]和赵金丽等[21]的研究结果具有一致性。较长三角等发达城市[34]，空间距离对于绿洲城市间的人口流动阻碍更强，人口网络中“近邻效应”更加明显。而对于技术网络，长三角城市已从单中心集聚向双核驱动[12]，并向多核心辐射的格局演变，而新疆城市由于技术溢出不足和有限的技术吸收能力，技术网络的发展仍处于单核心集聚的初级阶段。应以“打造八大产业集群”为契机，通过产业优化升级形成创新资源的优势互补，引导创新网络由单中心向多中心转变，发挥好科技创新在区域高质量发展中的动力作用。

我国城市网络的研究日益深入和多元化。本文基于城市间的交通、人口、物流、技术和信息联系刻画了新疆城市网络结构。在一定程度上弥补了单一要素研究视角下的局限性，但仍有不足，未进一步探讨新疆城市网络发育的影响机制和优化路径。在后续研究中，应更多地关注城市网络形成过程和微观机制的探究，并进一步探讨城市网络如何影响城市发展，这对于理论深化和省域规划实践都具有重要意义。在研究方法上，目前学者们多采用单一要素数据表征一类功能网络，如以百度指数构建信息网络，并不能完全揭示城市间真实复杂的交流、联系系统，有待进一步地探索新的、更真实、更加多元的数据源，采取更好的方法和模型，揭示区域一体化背景下城市网络的连接关系和组织模式。

4　结 论

（1）新疆城市规模较小，城市网络中心性特征突出，乌鲁木齐市在各要素网络中核心作用明显，城市网络整体呈现“核心引领+扁平化发展”的层级特征，除首府乌鲁木齐市以外，其他城市节点的作用发挥不充分。

（2）各要素网络的属性特征具有较明显的差异性。从城市节点来看，航空、铁路和技术网络中单核心节点地位突出，但信息和物流网络中首位分布特征不明显，各城市联系相对紧密，网络化程度较高。从空间联系来看，交通网络密度受空间距离和交通联系种类的影响较为突出，航空以远距离城市间的联系最为频繁，而铁路联系的高值区位于铁路干线节点城市间。人口流动的“空间近邻”效应凸显，以邻近城市联系为主。物流网络中城市间差距小且层级性不明显，形成典型的网络化结构。信息网络受传统空间距离约束较小，城市联系广泛且均衡。技术网络发育水平较低，形成以中心城市为核心的放射状网络格局。

参考文献(References)

[1] 赵金丽, 王成新, 曹莎. 基于多元要素流的长江流域与黄河流域城市网络结构研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(10): 59-68. [Zhao Jinli, Wang Chengxin, Cao Sha. Urban network structures of the Yangtze River Basin and the Yellow River Basin based on multi-element factor flows[J]. China Population Resourc-

es and Environment, 2021, 31(10): 59-68.]

[2] 钟业喜, 吴思雨, 冯兴华, 等. 多元流空间视角下长江中游城市群网络结构特征[J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版), 2020, 53(2): 47-55. [Zhong Yexi, Wu Siyu, Feng Xinghua, et al. Network structure characteristics of urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River from the perspective of multiple flow space[J]. Journal of Jiangxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2020, 53(2): 47-55.]

[3] 马丽亚, 修春亮, 冯兴华. 多元流视角下东北城市网络特征分析[J]. 经济地理, 2019, 39(8): 51-58. [Ma Liya, Xiu Chunliang, Feng Xinghua. Analysis of network characteristics of northeast cities from the perspective of multi-flow[J]. Economic Geography, 2019, 39(8): 51-58.]

[4] 柯文前, 陈伟, 杨青. 基于高速公路流的区域城市网络空间组织模式——以江苏省为例[J]. 地理研究, 2018, 37(9): 1832-1847. [Ke Wenqian, Chen Wei, Yang Qing. Uncovering spatial organization patterns of regional city networks from expressway traffic flow data: A case study of Jiangsu Province, China[J]. Geographical Research, 2018, 37(9): 1832-1847.]

[5] 马学广, 鹿宇. 基于航空客运流的中国城市空间格局与空间联系[J]. 经济地理, 2018, 38(8): 47-57. [Ma Xueguang, Lu Yu. Spatial structure and connection of cities in China based on air passenger transport flow[J]. Economic Geography, 2018, 38(8): 47-57.]

[6] 胡昊宇, 黄莘绒, 李沛霖, 等. 流空间视角下中国城市群网络结构特征比较——基于铁路客运班次的分析[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(8): 1525-1540. [Hu Haoyu, Huang Xinrong, Li Peilin, et al. Comparison of network structure patterns of urban agglomerations in China from the perspective of space of flows: Analysis based on railway schedule[J]. Journal of Geo-information Science, 2022, 24(8): 1525-1540.]

[7] 熊丽芳, 甄峰, 王波, 等. 基于百度指数的长三角核心区城市网络特征研究[J]. 经济地理, 2013, 33(7): 67-73. [Xiong Lifang, Zhen Feng, Wang Bo, et al. Research on urban network characteristics in the core area of the Yangtze River Delta based on Baidu index[J]. Economic Geography, 2013, 33(7): 67-73.]

[8] 董超, 修春亮, 魏冶. 基于通信流的吉林省流空间网络格局[J]. 地理学报, 2014, 69(4): 510-519. [Dong Chao, Xiu Chunliang, Wei Ye. Network structure of 'space of flows' in Jilin Province based on telecommunication flows[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(4): 510-519.]

[9] 叶强, 张俪璇, 彭鹏, 等. 基于百度迁徙数据的长江中游城市群网络特征研究[J]. 经济地理, 2017, 37(8): 53-59. [Ye Qiang, Zhang Lixuan, Peng Peng, et al. The network characteristics of urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River based on Baidu migration data[J]. Economic Geography, 2017, 37(8): 53-59.]

[10] 丁志伟, 马芳芳, 张改素. 基于抖音粉丝量的中国城市网络关注度空间差异及其影响因素[J]. 地理研究, 2022, 41(9): 2548-2567. [Ding Zhiwei, Ma Fangfang, Zhang Gaisu. Spatial differences and influencing factors of urban network attention by Douyin fans in China[J]. Geographical Research, 2022, 41(9): 2548-2567.]

[11] 苏航, 谷娇, 赵金丽. 多尺度视角下黄河流域城市信息网络空间结构演化研究[J]. 干旱区地理, 2023, 46(7): 1206-1216. [Su Hang, Gu Jiao, Zhao Jinli. Spatial structure evolution of urban information network in the Yellow River Basin from multi-scale perspective[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(7): 1206-1216.]

[12] 刘承良, 管明明. 基于专利转移网络视角的长三角城市群城际技术流动的时空演化[J]. 地理研究, 2018, 37(5): 981-994. [Liu Chengliang, Guan Mingming. Spatio-temporal evolution of interurban technological flow network in the Yangtze River Delta urban agglomeration: From the perspective of patent transaction network[J]. Geographical Research, 2018, 37(5): 981-994.]

[13] 李仙德. 基于上市公司网络的长三角城市网络空间结构研究[J]. 地理科学进展, 2014, 33(12): 1587-1600. [Li Xiande. Spatial structure of the Yangtze River Delta urban network based on the pattern of listed companies network[J]. Progress in Geography, 2014, 33(12): 1587-1600.]

[14] Sonn J W, Storper M. The increasing importance of geographical proximity in knowledge production: An analysis of US Patent Citations, 1975—1997[J]. Environment and Planning A, 2008, 40(5): 1020-1039.

[15] Taylor P J. Specification of the world city network[J]. Geographical Analysis, 2010, 33(2): 181-194.

[16] Derudder B, Taylor P, Ni P F, et al. Pathways of change: Shifting connectivities in the world city network, 2000-08[J]. Urban Studies, 2010, 47(9): 1861-1877.

[17] Taylor P J, Derudder B, Hoyler M, et al. New regional geographies of the world as practised by leading advanced producer service firms in 2010[J]. Transactions of the Institute of British Geographers, 2013, 38(3): 497-511.

[18] 曼纽尔·卡斯泰尔. 信息化城市[M]. 南京: 江苏人民出版社, 2001: 1-452. [Manuel Castells. Informational city[M]. Nanjing: Jiangsu People's Publishing House, 2001: 1-452.]

[19] 王姣娥, 杜德林, 金凤君. 多元交通流视角下的空间级联系统比较与地理空间约束[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2482-2494. [Wang Jiao'e, Du Delin, Jin Fengjun. Comparison of spatial structure and linkage systems and geographic constraints: A perspective of multiple traffic flows[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(12): 2482-2494.]

[20] 王逸舟, 王海军, 张彬, 等. 基于多维要素流视角的城市群网络结构及影响因素分析——以武汉城市圈为例[J]. 经济地理, 2021, 41(6): 68-76. [Wang Yizhou, Wang Haijun, Zhang Bin, et al. Analysis on the network structure of urban agglomeration and its influencing factors based on the perspective of multi-dimensional feature flow: Taking Wuhan urban agglomeration as an example[J]. Economic Geography, 2021, 41(6): 68-76.]

[21] 赵金丽, 张学波, 任嘉敏, 等. 多元流视角下黄河流域城市网络

空间结构及其影响因素[J]. 地理科学, 2022, 42(10): 1778-1787. [Zhao Jinli, Zhang Xuebo, Ren Jiamin, et al. Spatial structure and influencing factors of urban network in the Yellow River Basin based on multiple flows[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(10): 1778-1787.]

[22] 幸丽君, 杜赛南, 孙桂英, 等. 多维流视角下湖北省网络结构特征及其影响机制[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(10): 2134-2145. [Xing Lijun, Du Sainan, Sun Guiying, et al. Analysis on network structure characteristics and its influencing factors in Hubei Province based on the perspective of multi-dimensional feature flow[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(10): 2134-2145.]

[23] 曹晨, 黄贤金. 多要素流视角下黄河"几"字弯都市圈空间网络结构及影响因素研究[J]. 干旱区地理, 2023, 46(6): 993-1003. [Cao Chen, Huang Xianjin. Spatial network structure and its influencing factors of Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River from the perspective of multi-dimensional feature flow[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(6): 993-1003.]

[24] 牢牢把握新疆在国家全局中的战略定位在中国式现代化进程中更好建设美丽新疆[N]. 人民日报, 2023-08-27(001). [Firmly grasp the strategic positioning of Xinjiang in the overall situation to better build a beautiful Xinjiang in the process of Chinese style modernization[N]. People's Daily, 2023-08-27(001).]

[25] 李刚. 高质量发展的新疆实践: 评估体系构建及测度研究[J]. 干旱区地理, 2025, 48(1): 143-152. [Li Gang. Practice of high-quality development in Xinjiang: Evaluation system construction and measurement study[J]. Arid Land Geography, 2025, 48(1): 143-152.]

[26] 杜宏茹, 张小雷. 近年来新疆城镇空间集聚变化研究[J]. 地理科学, 2005, 25(3): 268-273. [Du Hongru, Zhang Xiaolei. A study on urban spatial agglomeration in Xinjiang in recent years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(3): 268-273.]

[27] 靳传芬, 杜宏茹. 基于汽车客运班次的新疆城市网络特征[J]. 中国科学院大学学报, 2023, 40(3): 343-350. [Jin Chuanfen, Du Hongru. Characteristics of Xinjiang urban network based on intercity bus flows[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2023, 40(3): 343-350.]

[28] 杜宏茹, 唐钰婷, 张紫芸. 新疆干旱区城镇化的地域特征及其高质量发展路径[J]. 经济地理, 2021, 41(10): 200-206. [Du Hongru, Tang Yuting, Zhang Ziyun. Regional characteristics and high-quality development path of urbanization in arid region of Xinjiang [J]. Economic Geography, 2021, 41(10): 200-206.]

[29] 沈丽珍, 顾朝林. 区域流动空间整合与全球城市网络构建[J]. 地理科学, 2009, 29(6): 787-793. [Shen Lizhen, Gu Chaolin. Integration of regional space of flows and construction of global urban network[J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(6): 787-793.]

[30] 陈伟, 修春亮, 柯文前, 等. 多元交通流视角下的中国城市网络层级特征[J]. 地理研究, 2015, 34(11): 2073-2083. [Chen Wei, Xiu Chunliang, Ke Wenqian, et al. Hierarchical structures of China's city network from the perspective of multiple traffic flows[J]. Geographical Research, 2015, 34(11): 2073-2083.]

[31] 刘军. 社会网络分析导论[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2004: 1-75. [Liu Jun. Introduction to social network analysis[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2004: 1-75.]

[32] 刘传明, 曾菊新. 县域综合交通可达性测度及其与经济发展水平的关系——对湖北省79个县域的定量分析[J]. 地理研究, 2011, 30(12): 2209-2221. [Liu Chuanming, Zeng Juxin. The calculating method about the comprehensive transport accessibility and its correlation with economic development at county level: The statistical analysis of 79 counties in Hubei Province[J]. Geographic Research, 2011, 30(12): 2209-2221.]

[33] 李苑君, 吴旗韬, 张玉玲, 等. 中国三大城市群电子商务快递物流网络空间结构及其形成机制研究[J]. 地理科学, 2021, 41(8): 1398-1408. [Li Yuanjun, Wu Qitao, Zhang Yuling, et al. Spatial structure and formation mechanism of e-commerce express logistics network in the three major urban agglomerations of China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(8): 1398-1408.]

[34] 王珏, 陈雯, 袁丰. 基于社会网络分析的长三角地区人口迁移及演化[J]. 地理研究, 2014, 33(2): 385-400. [Wang Jue, Chen Wen, Yuan Feng. Human mobility and evolution based on social network: An empirical analysis of Yangtze River Delta[J]. Geographical Research, 2014, 33(2): 385-400.]

Network pattern of oasis cities in Xinjiang from the perspective of multiple flows

GUO Jiali[1,2], DU Hongru[1,2]
(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China;
2. College of Resources and Environment, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The spatial flow of various elements continues to reshape intercity connections. Compared with urban network research from a single-element perspective, analyzing urban networks through a multi-element flow perspective provides a more comprehensive understanding of urban spatial patterns and better reflects the regional characteristics of these networks. Using Xinjiang, China as a case study, this article examines intercity interactions based on relational data related to aviation, population, railway, logistics, information, and technology, employing social network analysis to evaluate the structural characteristics of the oasis city network. The findings indicate: (1) Influenced by the distribution pattern of oases, the urban network in arid regions exhibits the overall characteristics of "single-core leadership+flat development", centered on core cities. (2) The primacy of traffic flow and technology flow networks is more pronounced, whereas logistics and information flow networks are less dominated by the primacy city. Urban centrality is more evenly distributed, and the disparity between cities is minimal. (3) The logistics and information flow networks are dense and mature, exhibiting a multi-center network structure. In contrast, the traffic flow, population flow, and technology flow networks are primarily single-centered, displaying a "core-edge" structure. (4) To achieve high-quality development of Xinjiang's oasis cities and optimize the urban spatial system, fostering regional growth poles, transitioning to a multi-center network structure, and enhancing regional innovation and complementarity should be prioritized.
Key words: multiple element flow; urban network; flow space; oasis city; Xinjiang